



Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :
Génie chimique

Thème:

**Dessalement des eaux de mer et contrôle de qualité
« station Ténès Lilmiyah »**

Réalisé par :

DERARZA Nabila

Encadré par :

- Mme BETTAYEB Souhila
- Mr MELAB Khaled

MAA / Institut de technologie
Responsable Technique / Ténès Lilmiyah

Examiné par :

- Mme SIFOUN Naima
- Mme HAMZAOUI Sarah

MCB / Institut de technologie
MCB / Institut de technologie

Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant qui m'a donné le courage, la volenté et la patience pour réaliser ce travail.

Je remercie particulièrement mon promoteur Mme. BETTAYEB de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement mon Co-promoteur Mr. MELAB Khaled responsable Technique de la station.

Mes sincères remerciements vont également ou membres du jury qui ont bien voulu accepter de participer à l'évaluation de mon travail et Monsieur le directeur de la station de dessalement de l'eau de mer Ténès Lilmyah-ainsi qu'à tous les techniciens et les ingénieurs de la station.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

| | |
|-----------------------------|---|
| Introduction générale | 1 |
|-----------------------------|---|

Chapitre I : Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer Ténès Lilmyah

| | |
|---|---|
| Introduction | 3 |
| I.1. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès) | 3 |
| I.2. Situation géographique | 4 |
| I.3. Directions de la station Ténès Lilmyah | 5 |
| I.3.1. Département HSE | 5 |
| I.3.2. Laboratoire de qualité | 5 |
| I.4. Description générale de la station | 6 |
| I.5. Capacité de la station | 6 |
| I.6. Caractéristiques de l'eau à traiter | 7 |
| I.7. Caractéristiques de l'eau produite | 8 |

Chapitre II : Généralités sur le dessalement

| | |
|--|----|
| Introduction | 9 |
| II.1. Définition du dessalement de l'eau de mer | 9 |
| II.2. Etapes de dessalement de l'eau de mer | 9 |
| II.2.1. Captation de l'eau de mer | 10 |
| II.2.2. Prétraitement | 10 |
| II.2.2.1. Coagulation-floculation | 10 |
| II.2.2.2. La filtration | 11 |
| II.2.2.3. Le Traitement chimique | 11 |
| II.2.2.4. La filtration de sécurité ou microfiltration | 11 |
| II.2.3. Différents procédés de dessalement | 11 |
| II.2.4. Post traitement ou minéralisation | 12 |
| II.2.4.1. L'ajustement de pH | 12 |
| II.2.4.2. La chloration | 12 |
| II.3. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer dans la région méditerranéenne | 12 |
| II.4. Procédés de dessalement de l'eau de mer | 13 |

| | | |
|-----------|---|----|
| II.4.1. | Distillation..... | 13 |
| II.4.1.1. | Distillation à simple effet..... | 13 |
| II.4.1.2. | Distillation à multiples effets..... | 13 |
| II.4.1.3. | Distillation avec compresseur de vapeur..... | 13 |
| II.4.1.4. | Distillation par détente successive ou procédé « Flash »..... | 13 |
| II.4.1.5. | Distillation solaire..... | 14 |
| II.4.2. | Procédés membranaires..... | 14 |
| II.4.2.1. | Electrodialyse..... | 14 |
| II.4.2.2. | Osmose inverse..... | 14 |
| II.4.3. | Echange ionique..... | 16 |
| II.4.4. | Dessalement par congélation..... | 16 |
| | Conclusion..... | 17 |

Chapitre III : Matériel et Méthodes

| | | |
|------------|--|----|
| III.1. | Description du processus de dessalement de l'eau de mer..... | 18 |
| III.1.1. | Captation de l'eau de mer..... | 18 |
| III.1.2. | Prétraitement..... | 19 |
| III.1.2.1. | Prétraitement physique..... | 19 |
| III.1.2.2. | Prétraitement chimique..... | 20 |
| III.1.3. | Equipements de l'osmose inverse..... | 21 |
| III.1.3.1. | Pompage à haute pression..... | 21 |
| III.1.3.2. | Récupération de l'énergie du concentrât..... | 21 |
| III.1.3.3. | Système de membranes d'osmose inverse..... | 22 |
| III.1.4. | Post traitement..... | 22 |
| III.1.4.1. | Dosage de CaCO ₃ | 23 |
| III.1.4.2. | Dosage de dioxyde carbone CO ₂ | 24 |
| III.1.4.3. | Dosage d'hypochlorite de sodium..... | 24 |
| III.2. | Méthodes d'analyses..... | 25 |
| III.2.1. | Analyses physiques..... | 25 |
| III.2.1.1. | Mesure de pH, conductivité, TDS et température..... | 25 |
| III.2.1.2. | Mesure de la turbidité..... | 25 |
| III.2.2. | Analyses chimiques..... | 26 |
| III.2.2.1. | Test de la dureté totale (TH)..... | 26 |
| III.2.2.2. | Test de calcium et de magnésium..... | 27 |
| III.2.2.3. | Test d'alcalinité..... | 28 |

| | |
|--|----|
| III.2.2.4. Test de chlorure | 29 |
| III.2.2.5. Mesure de sulfate et TSS | 30 |
| III.2.2.6. Test de Bore (pour l'eau de mer et le saumure)..... | 31 |
| III.2.2.7. Test de chlore libre | 32 |
| III.2.2.8. Mesure d'indice de Langelier | 32 |

Chapitre IV : Résultats et discussions

| | |
|----------------------------------|----|
| Introduction | 33 |
| IV.1. Résultats | 33 |
| IV.2. Discussions | 35 |
| Conclusion générale | 36 |
| Références bibliographiques..... | 37 |

Annexes

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I. 1: Société d'investissement la station de dessalement | 3 |
| Figure I. 2: Vue générale sur la station de Ténès | 4 |
| Figure I. 3: Situation géographique de la station | 4 |
| Figure II. 1: Schéma général d'une installation de dessalement | 9 |
| Figure III. 1: Captation de l'eau de mer | 18 |
| Figure III. 2: Beaudry (des filtres rotatifs)..... | 18 |
| Figure III. 3: Filtre à sable | 19 |
| Figure III. 4: Filtre à cartouche | 20 |
| Figure III. 5: Pompe à haute pression | 21 |
| Figure III. 6: Système de récupération d'énergie | 22 |
| Figure III. 7: Rack d'osmose inverse | 22 |
| Figure III. 8: Système de saturation de chaux | 23 |
| Figure III. 9: Silos de stockage de CaCO_3 | 23 |
| Figure III. 10: Bâtiment de production CO_2 | 24 |
| Figure III. 11: Silos de stockage d'hypochlorite de sodium..... | 25 |
| Figure III. 12: Appareil multi-paramètre | 25 |
| Figure III. 13: Avant le dosage de la dureté | 26 |
| Figure III. 14: Après le dosage de la dureté..... | 26 |
| Figure III. 15: Avant le dosage de calcium et de magnésium..... | 28 |
| Figure III. 16: Après le dosage de calcium et de magnésium..... | 28 |
| Figure III. 17: Avant le titrage | 28 |
| Figure III. 18: Après le titrage | 28 |
| Figure III. 19: Avant le dosage de Chlorure | 29 |
| Figure III. 20: Après le dosage de Chlorure | 29 |
| Figure III. 21: Spectrophotomètre | 31 |
| Figure III. 22: Solutions utilisées dans le test de Bore | 32 |
| Figure III. 23: Appareille d'analyse de Chlore..... | 32 |

Liste des tableaux

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I. 1: Caractéristiques de l'eau à traiter | 7 |
| Tableau I. 2: Caractéristiques de l'eau produite | 8 |
| Tableau III. 1: Mesure de la dureté totale..... | 26 |
| Tableau III. 2: Dosage de calcium et de magnésium..... | 27 |
| Tableau III. 3: Test d'alcalinité | 28 |
| Tableau III. 4: Test de chlorure | 29 |
| Tableau III. 5: Mesure de sulfate et TSS | 30 |
| Tableau III. 6: Test de Bore..... | 31 |
| Tableau IV. 1: Résultats d'analyse pour le mois d'avril | 33 |
| Tableau IV. 2: Résultats d'analyse pour le mois de mai | 34 |

Liste des abréviations

Abréviations

[Cl] : Concentration de chlorure

EDTA : Ethyle Diamine Tétra Acétique

HP : Haute pression

OI : Osmose inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH: Potentiel d'Hydrogène

ppm : Partie par million

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TDS : Solides Totaux Dissous

TH : Titre Hydrotimétrique (la dureté totale)

TSS : Total des matières solides en suspension

Introduction générale

Introduction générale

L'accès à l'eau potable est essentiel pour la santé. Sa disponibilité, outre un droit humain de base, déclaré par la loi relative à l'eau [1], ainsi que '*The General Assembly of the United Nation*' demeure un critère indispensable pour la vie et pour le développement socioéconomique durable d'un pays [2].

Au cours des années 1950 – 1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, tandis que la population de la planète augmentait de 2,3 milliards d'habitants. La pénurie d'eau touche déjà tous les continents et plus de 40% de la population de la planète [3].

La rareté de l'eau se fait de plus en plus sentir et devient sans doute l'un des défis majeurs de ce siècle. D'après le '*Water Resources Institute*', il existe déjà plus de 26 pays, qui commencent à souffrir du manque d'eau et d'ici 2032, ce chiffre dépassera la barre des 50% de la population mondiale. Par ailleurs, le '*Conseil Mondial de l'Eau*', avait avancé que sur une population de 6 milliards d'habitants, 1 sur 4 n'accède pas à une eau de qualité et en quantité suffisante, qu'un habitant sur deux ne dispose pas d'un système d'assainissement adéquat et, chaque année, 7 millions de personnes meurent à cause des maladies d'origine hydrique. Avoir donc une meilleure connaissance des ressources en eau existantes, s'avère crucial pour arriver à combler ce manque à savoir : 'La vulnérabilité des ressources à un éventuel facteur', 'les mesures nécessaires pour développer, gérer et protéger les ressources [4].

L'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays. 90% de la totalité des écoulements superficiels se trouvent sur la région littorale, les 10% restant se partageant entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens. La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisable. La part que prend l'alimentation en eau potable s'est considérablement accrue en volume et en proportion. De 16% de la consommation globale en 1975, elle est passée à 35% actuellement. L'alimentation en eau potable a acquis une nette priorité par rapport aux autres utilisations,

priorité qui a été consacrée dans la législation algérienne relative à l'eau [5]. La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante.

Face à ces défis vitaux, l'Algérie est lancée depuis peu, mais de façon intense, dans le dessalement de l'eau de mer. Cette solution s'est imposée afin de faire face à ces besoins grandissants, mais aussi pour atténuer la pression sur les ressources locales. Par conséquent, l'Algérie s'est fixée un objectif de réaliser 13 stations de dessalement de l'eau de mer, d'une capacité de 2.260.000 m³/jour, selon l'ADE [6].

Dans cette optique, une étude est menée en vue d'explorer le principe d'exploitation de la station de dessalement de '*Ténès Lilmyah*' et les caractéristiques physico-chimiques des eaux traitées de la station suscitée.

Dans un premier temps, on présente une partie théorique composée de trois chapitres, le premier sur la présentation de l'unité de dessalement, et le deuxième sur des généralités sur le dessalement et le troisième sur les procédés de dessalement de l'eau de mer.

Au chapitre IV on présente le matériel et les méthodes que nous utilisons dans l'analyse des eaux traitées au niveau de la station.

Le chapitre V est consacré aux résultats obtenus et discussions.

Enfin, une conclusion générale.

Chapitre I :

Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer

Ténès Lilmyah

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter de l'unité de dessalement de l'eau de mer Ténès Lilmiyah (situation géographique, capacité de la station...).

I.1. Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer (Ténès)

L'unité de dessalement de l'eau de mer à Ténès est un investissement étatique qu'a été réalisé par l'entreprise « SONATRACH et SONELGAZ » avec 49% et l'entreprise espagnole « ABENGOA » avec 51% de cet investissement (**Figure I.1**).

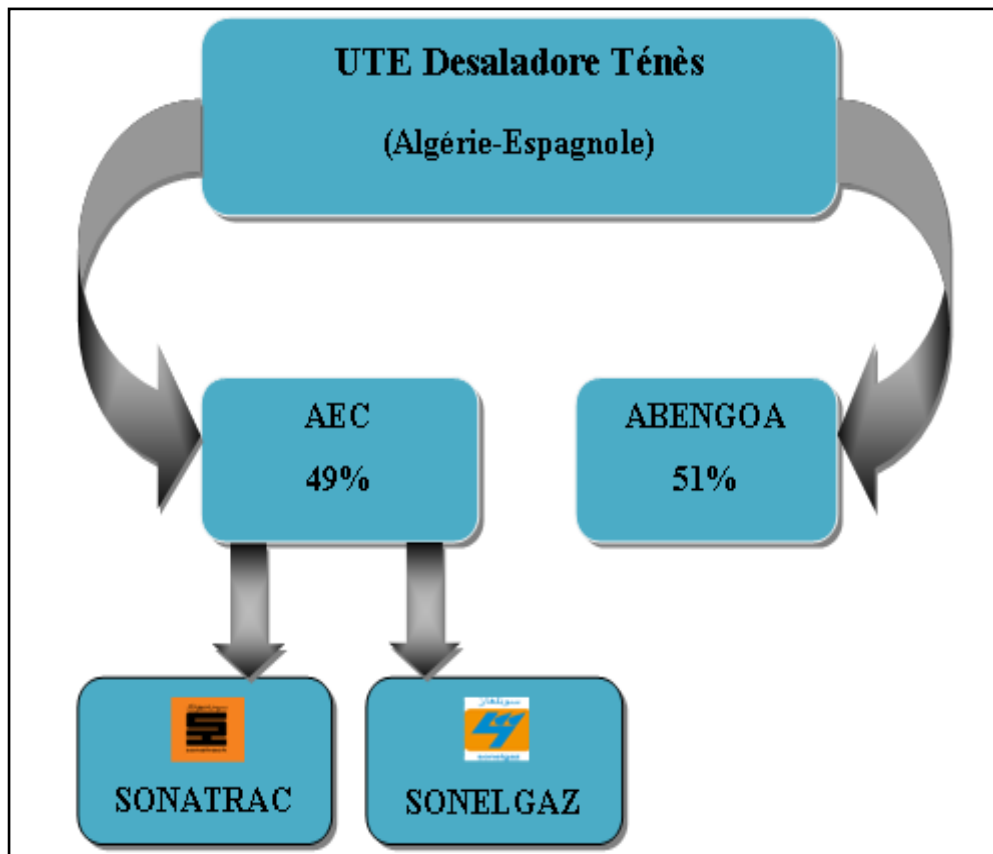


Figure I. 1: Société d'investissement la station de dessalement

Se situe à 6 km de la sortie ouest de la ville côtière Ténès et 60 km de la ville de Chlef.

Elle s'étend sur une superficie de 6 hectares, et était créée pour éliminer la déficience en matière d'alimentation en eau potable de la population de la wilaya de Chlef.

L'unité de dessalement de Ténès a pour but de produire l'eau potable pour la consommation humaine avec une capacité production de 200 000 m³ par jour et la mise en service finale de la station de dessalement Ténès était en 1 juin 2015 [7].



Figure I. 2: Vue générale sur la station de Ténès

I.2. Situation géographique

L'unité de dessalement de l'eau de mer à Ténès se situe dans la zone d'expansion touristique de Mainis, à la sortie de ville côtière d'environ 6 Km ouest de la ville de Ténès et 60 Km de la ville de Chlef, elle s'étend sur une superficie de 6100 m², elle est limitée par :

- ✚ Au Nord : la mer méditerranée
- ✚ Au Sud : la route national N°11
- ✚ A l'Ouest : une petite unité de dessalement 5000 m³/j (ancienne station)
- ✚ A l'Est : les habitations de Mainis.



Figure I. 3: Situation géographique de la station

I.3. Directions de la station Ténès Lilmiyah

La direction de la station de ténès est composée de :

- La direction d'administration ;
- La direction opération (démarrage de station) ;
- La direction maintenance (département mécanique, département électrique, département instruire, département conservation) ;
- Département HSE ;
- Laboratoire.

I.3.1. Département HSE

Le rôle d'HSE porte sur le programme d'observation des dangers SSE (santé, sécurité et environnement), ce dernier permet d'améliorer les conditions de travail et de la sécurité sur le site, pour la protection physique d'employeurs, y'on a EPI qui concerne l'obligation de port du casques, lunettes et des chaussures...au moment de la visite du chantier pour éviter les accidents et les dangers. Ce programme porte aussi sur le travail en hauteur, les espaces confinés, l'excavation, les outils et les équipements, le permis du travail, les produits dangereux, les techniques de levage et de transports ...[7].

I.3.2. Laboratoire de qualité

Au laboratoire, on fait des études expérimentales qui consiste à effectuer des prélèvements et des analyses physico-chimiques de l'eau traitée après le processus de dessalement, pour obtenir une eau agréable au gout et à la vue, une absence d'agents pathogènes, une absence d'éléments chimique toxique et d'assurer la bonne qualité d'eau selon des normes conditionnée par l'acheteur [7].

I.4. Description générale de la station

La ligne de traitement de la station de dessalement d'eau de mer de Ténès comprend les étapes suivantes :

- Captation de l'eau de mer/pompage à basse pression et acheminement vers la station
- Dosage de l'hypochlorite de sodium
- Dosage de dioxyde de carbone
- Filtration ouverte
- Pompage intermédiaire
- Système de nettoyage des filtres à sable
- Systèmes de récupération de l'énergie de la saumure avec chambres hyperbariques
- Dosage de produit réactif inhibiteur « antiscalant »
- Filtrage de cartouches
- Dosage de bisulfite de sodium
- Pompage à haute pression
- Modules d'osmose inverse
- Système de récupération de l'énergie de la saumure avec chambres hyperbariques
- Système de déplacement et nettoyage chimique des membranes
- Système de post-traitement de l'eau produite
- Désinfection finale à l'aide d'hypochlorite de sodium
- Pompage de l'eau produite [7].

I.5. Capacité de la station

La capacité nominale de production de la station est de 200 000 m³/jour. La station est constituée de douze (12) unités identiques avec une capacité nominale de production nette d'eau dessalée de 17 391 m³/jour chacune, avec un taux de conversion de 45% et avec un facteur de disponibilité de 98,08%. La station a été dessinée pour fonctionner avec quatre échelons de production optimale qui correspondent au fonctionnement de 3, 6, 9 ou 12 unités

de dessalement.

Ces 12 unités produisent un débit de design total de 208,696 m³/jour ce qui permet de produire 200 000 m³/jour même pendant le processus de lavage de chaque sous unité. De plus, il est prévu une sur production de 1% pour la consommation interne de la station, avec un débit total de captage de 468,406 m³/jour [7].

I.6. Caractéristiques de l'eau à traiter

Les caractéristiques de l'eau à traiter sont données dans le tableau suivant :

Tableau I. 1: Caractéristiques de l'eau à traiter

| Paramètre | Unité | Minimum | Maximum |
|---|-------|---------|---------|
| Température | °C | 14 | 26 |
| Totale des matières solides dissoutes (TDS) | mg/l | 35000 | 39000 |
| Totale des matières solides en suspension (TSS) | mg/l | 1 | 10 |
| Pétrole et hydrocarbures | mg/l | N/A | <0,05 |
| Chlorure | mg/l | 19000 | 22000 |
| Calcium | mg/l | N/A | 490 |
| Sulfate | mg/l | N/A | 3200 |
| Strontium | mg/l | N/A | 10 |
| Baryum | mg/l | N/A | 0,3 |
| Magnésium | mg/l | N/A | 1550 |
| Bore | mg/l | N/A | 5 |

I.7. Caractéristiques de l'eau produite

Les caractéristiques de l'eau produite sont données dans le tableau suivant :

Tableau I. 2: Caractéristiques de l'eau produite

| Paramètre | Valeur |
|-------------------------|---|
| pH | 7,0 - 8,5 |
| Indice de langelier | 0 - 0,4 |
| Alcalinité | 60 ppm de CaCO ₃ (valeur minimale) |
| Dureté totale | 80 ppm <TH< 150 ppm de CaCO ₃ |
| Matière totale Dissoute | 150 <MTD< 500 ppm |
| Bore | ≤ 1 mg/l (valeur annuelle moyenne) |

Chapitre II :

Généralités sur le dessalement

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur le dessalement de l'eau de mer et ses différents procédés utilisés (la distillation, procédés membranaires et l'échange ionique..).

II.1. Définition du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale [8].

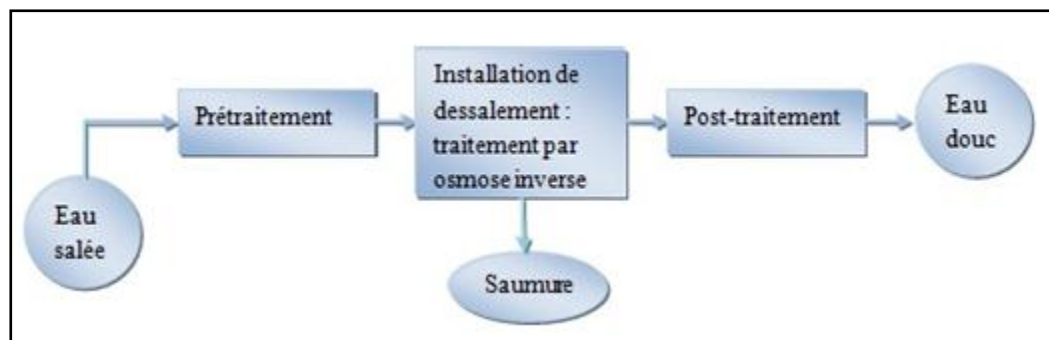


Figure II. 1: Schéma général d'une installation de dessalement

L'eau de mer contient en moyenne 35g/l de sels qui sont essentiellement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium(11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%) [8].

II.2. Etapes de dessalement de l'eau de mer

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes

- ✚ La captation de l'eau de mer
- ✚ Le prétraitement
- ✚ Les différents procédés de dessalement
- ✚ Le post traitement ou minéralisation

II.2.1. Captation de l'eau de mer

Elle consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement. Cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Dans cette étape deux types de technologies sont utilisés :

- Les forages côtiers : soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables.
- La prise d'eau de surface : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants [9].

II.2.2. Prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse sur le long terme. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques [10].

- Les prétraitements physiques incluent les préfiltres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire.
- Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de polyélectrolytes [10].

II.2.2.1. Coagulation-floculation

La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en microflocs puis en flocs plus volumineux décantables. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- pour la coagulation : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique,
- pour la floculation : les polymères organiques à longues chaînes de masse

molaire élevée [11].

II.2.2.2. La filtration

Dans le cas de la filtration sur sable, la séparation s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatara en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide. Plusieurs autres types de filtres reposent sur ce principe (filtre à cartouche, filtre à disque,...). Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides, appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide [12].

II.2.2.3. Le Traitement chimique

Après filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes (acidification, addition de bisulfite de sodium et dosage d'anti-incrustant [14].

II.2.2.4. La filtration de sécurité ou microfiltration

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche type bobiné. Entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes [14].

II.2.3. Différents procédés de dessalement

Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels. On citera notamment : la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse.

Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse [13].

II.2.4. Post traitement ou minéralisation

En général, l'étape de poste traitement comporte deux phases principales : l'ajustement de pH et la chloration.

II.2.4.1. L'ajustement de pH

L'eau produite par un des procédés de dessalement est agressive. Son pH est inférieur au pH de saturation. La correction du pH se fait par une solution alcaline [14].

II.2.4.2. La chloration

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) [15].

II.3. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer dans la région méditerranéenne

La distillation de l'eau de mer est pratiquée depuis plus d'un siècle à bord des navires long-courriers et les usines de dessalement se multiplient en de nombreuses parties du monde, en particulier dans les pays riverains du golfe Arabo-Persique où la demande en eau douce est élevée et les ressources en combustibles aisément disponibles.

S'il est vrai que la plupart des très grandes usines de dessalement sont situées dans la péninsule Arabique, il existe un nombre impressionnant d'usines à travers le monde, et certaines en des pays ou des sites que l'on pourrait juger peu enclins à se tourner vers une ressource en eau d'un coût relativement élevé. Au 31 décembre 1999, dans le monde entier, 13 600 usines de dessalement représentant une capacité totale de 25 909 m³/jour avaient été installées ou étaient en cours de construction [16].

II.4. Procédés de dessalement de l'eau de mer

II.4.1. Distillation

L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.

II.4.1.1. Distillation à simple effet

Permet de reproduire le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée, et un deuxième soutire l'eau de mer concentrée [17].

II.4.1.2. Distillation à multiples effets

Son objectif est d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet. On sait que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible et ainsi de suite [9].

II.4.1.3. Distillation avec compresseur de vapeur

Consiste à une revalorisation de la vapeur d'eau du dernier effet par compression grâce à un compresseur mécanique ou via un éjecteur, on parle alors de thermocompression. La compression par éjecteur nécessite par ailleurs une vapeur motrice [18].

II.4.1.4. Distillation par détente successive ou procédé « Flash »

Consiste à mettre une enceinte sous vide, isolée et ne contenant que de l'eau de mer. On la maintient en équilibre avec sa vapeur à une température « t » et une pression « p ». Lorsque de l'eau chaude est introduite dans l'enceinte, et que p est inférieure à la pression de saturation, on observe une vaporisation instantanée par détente. La chaleur de la vapeur est transférée à l'eau froide circulant dans les tubes de condenseur. Elle est alors condensée sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte. On peut alors récupérer

l'eau distillée pure [19].

II.4.1.5. Distillation solaire

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel [20].

II.4.2. Procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

II.4.2.1. Electrodialyse

L'électrodialyse fonctionne sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques de l'électrodialyse sont : la dialyse et l'électro-désionisation.

On distingue trois types d'électrodialyse :

- L'électrodialyse dite conventionnelle (ED)
- L'électrodialyse à membrane bipolaire (EDMB)
- L'électrolyse à membranes (EM)

II.4.2.2. Osmose inverse

L'osmose inverse est un système de purification de l'eau contre des matières en solution par un système de filtrage très fin que ne laisse passer que des molécules d'eau. C'est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires [21].

II.4.2.2.1. Installation d'osmose inverse

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

a) Membrane d'osmose inverse

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimensions définis ou contenant des couches superposées [23].

Du point de vue classification, il existe une grande diversité des membranes. Elles sont classées par famille selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique.

b) Module d'osmose inverse

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire. Il existe quatre types de modules.

- Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides [21].

- Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel [21].

- Modules spiralés

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du rétentat [22].

- Modules à fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm.

Les aiseaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne-externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse [22].

c) **Pompe à haute-pression HP et système de récupération d'énergie**

Les pompe à haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinée au dessalement de l'eau de mer ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie hydraulique du concentrât qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que de celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement.

Les pompes à haute-pression des membranes d'osmose doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie [24].

II.4.3. Echange ionique

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échange certains de leurs ions avec les sels de l'eau. Les produits employés actuellement sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions (résines synthétiques sous la forme de graines d'environ 0,3 à 1,5 mm).

Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 8 et même 10g/ L de sel [25].

II.4.4. Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce [26].

En pratique, la glace est contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques et par la saumure elle-même pendant la séparation glace solution ; le procédé doit permettre de minimiser cette contamination [26].

Conclusion

Nous concluons que l'eau de mer passe par plusieurs étapes (captation de l'eau de mer, prétraitement, osmose inverse, poste traitement) pour obtenir de l'eau potable qu'il existe plusieurs différents procédés pour le dessalement de l'eau de mer.

Chapitre III :

Matériel et Méthodes

III.1. Description du processus de dessalement de l'eau de mer

III.1.1. Captation de l'eau de mer

Dans ce cas, la prise d'eau faite en pleine mer à 600 m se fait par deux tuyauteries prenant appui sur le fond marin de 10 m, d'un diamètre de 1800 mm chacune, ils permettent de transiter l'eau de mer gravitairement jusqu'au réservoir de collecte. Le débit maximal de capture est de 540 000 m³/j ce qui implique une capacité excédentaire de 13,26 %. Cette tour est dotée d'un système de pré-filtration comprenant des tubes de grilles à gros grains et des tamis autonettoyants, qui permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marins et homogène, adéquate pour l'étape suivante [27].

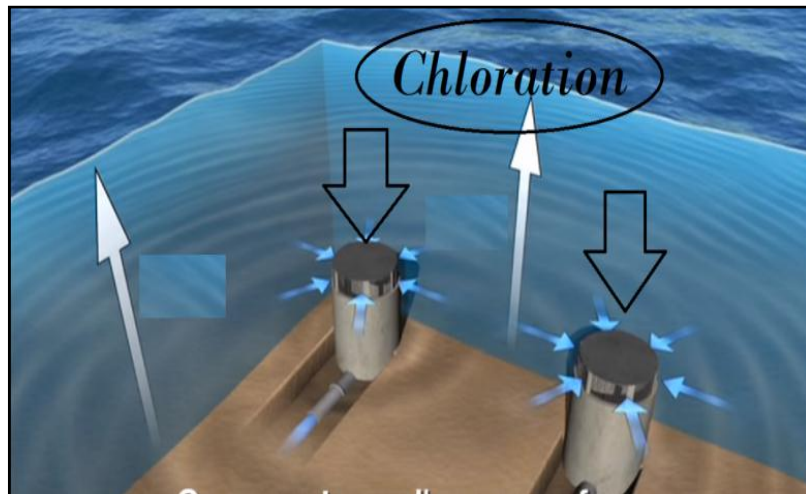


Figure III. 1: Captation de l'eau de mer



Figure III. 2: Beaudry (des filtres rotatifs)

III.1.2. Prétraitement

III.1.2.1. Prétraitement physique

III.1.2.1.1. Filtre à sable

Ce système élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer.

Il contient 36 filtres qui sont distribués d'une surface unitaire de 92 m² avec une longueur de 11,9 m et un largeur de 7,9 m. Chaque filtre a 3 couches pour mieux éliminer toutes les particules, donc la masse bicouche composée d'une couche de gravé, l'antracite (0,8-1,6 mm) et une autre de silice (0,4-0,8 mm). La vitesse de filtration sera de 5,19 m/h [27].



Figure III. 3: Filtre à sable

III.1.2.1.2. Filtre à cartouche

La microfiltration est assurée par l'utilisation d'un filtre à cartouche pour protéger les pompes à haute pression dans le bloc d'osmose inverse [27].

Au total, nous avons 22 filtres avec 290 cartouches chacune, dont 10 qui filtrent l'eau d'alimentation aux pompes de haute pression et 12 filtrant le courant d'alimentation aux récupérateurs d'énergie. Les tuyauteries et les collecteurs d'entrée et de sortie des filtres sont en polyester renforcé de verre ils sont d'un diamètre tel que la vitesse ne dépasse pas les 2,5 m/s [28].



Figure III. 4: Filtre à cartouche

III.1.2.2. Prétraitement chimique

III.1.2.2.1. Désinfection

On effectue une chloration de l'eau brute moyennant le dosage d'hypochlorite de sodium dans l'émissaire sous-marin et dans la chambre d'aspiration des pompes.

L'hypochlorite de sodium est fabriqué sur place par électrolyse. Dans le processus d'électrolyse, l'eau de mer est traversée par un courant électrique grâce à laquelle des bulles d'hydrogène et de chlore vont être formés. Les bulles de chlores réagissent avec l'hydroxyde de sodium, un autre produit de la réaction d'électrolyse, en donnant matière à la formation d'hypochlorite de sodium [27].

III.1.2.2.2. Dosage de métabisulfite de sodium

L'utilisation du métabisulfite de sodium permet d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse, évitant leur détérioration par oxydation [27].

L'injection de la solution de $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ se fait par un équipement qui est composé de deux réservoirs d'accumulation-dissolution et d'une pompe doseuse par ligne, plus une réserve [27].

III.1.2.2.3. Dosage d'inhibiteur anti-scalant

Afin d'éviter la précipitation des sels dans les membranes, on dosera un inhibiteur dont l'action est destinée à empêcher la formation des réseaux cristallines, en maintenant les ions dispersés et en permettant de dépasser la limite du produit de solubilité de ces sels [28].

En chimie, un inhibiteur est un composé dont l'action est d'inhiber (c'est-à-dire de ralentir voire d'arrêter) une réaction chimique, en l'occurrence de réduire le dépôt de sels dans les membranes.

III.1.3. Equipements de l'osmose inverse

III.1.3.1. Pompage à haute pression

Avant l'entrée dans les membranes d'OI, l'eau prétraitée arrive au système de pompage à haute pression généralement entre 60 et 70 bars, en fonction de la température et de la salinité [27].



Figure III. 5: Pompe à haute pression

III.1.3.2. Récupération de l'énergie du concentrât

Pour la récupération d'énergie des échangeurs de pression de type ERI qui sont utilisés (16 ERI/ rack), l'eau en provenance des filtres à cartouches est pressurisée jusqu'à la pression requise par les membranes d'osmose inverse grâce à 5 groupes électropompes dans l'une est de réserve (59 bars) [27].

L'énergie de la saumure est récupérée grâce au système de récupération d'énergie permettant de refouler le débit correspondant au rejet vers les blocs d'osmose inverse, la pompe booster permet de compenser les pertes résultant des pertes des charge le long des tubes de pression, et également du rendement de système de récupération [27].



Figure III. 6: Système de récupération d'énergie

III.1.3.3. Système de membranes d'osmose inverse

L'installation des membranes se compose de six lignes indépendantes produisant chacune 833 m³/jours. Les membranes seront installées dans 11 tubes de pression pour 7 unités. Les tubes de pression sont disposés pour travailler à une récupération totale de 45% d'eau d'osmose et 55% d'eau concentrée (saumures) [27].



Figure III. 7: Rack d'osmose inverse

III.1.4. Post traitement

C'est la dernière étape de traitement où se fait la reminéralisation de l'eau produite dans un réservoir de 200 000 m³.

La reminéralisation est réalisée avec un lait de chaux sur deux lignes indépendantes avec un apport de dioxyde carbone (CO₂). Ces deux produits sont dosés dans des chambres, à l'entrée du réservoir d'eau produite avec la poudre de calcaire (CaCO₃) et à la fin la désinfection qui se réalise avec l'hypochlorite de sodium [27].

III.1.4.1. Dosage de CaCO_3

Le dosage de carbonate de calcium se fait sur un silo de stockage ; qui permet l'alimentation du réservoir de lit de chaux, ce dernier est pompé vers le saturateur qui permet une meilleure homogénéisation de la chaux vive. Finalement l'eau saturée est pompée vers le réservoir

L'équation de la réaction est :

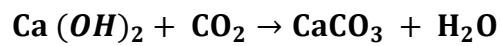


Figure III. 8: Système de saturation de chaux



Figure III. 9: Silos de stockage de CaCO_3

III.1.4.2. Dosage de dioxyde carbone CO₂

Le CO₂ est stocké sous forme liquide après le passage par des différentes étapes :

- La combustion d'une huile (hydrocarbures + Air -> CO₂ + H₂O + N₂)
- Refroidissement et condensation
- Récupération de CO₂ (MEA + CO₂ → MEA-CO₂ + chaleur)
- Compression de CO₂ récupéré
- Déshydratation
- Liquéfaction
- Distillation

L'équation de la réaction est :

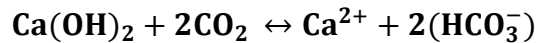
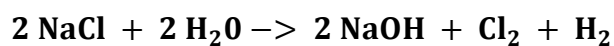


Figure III. 10: Bâtiment de production CO₂

Le dioxyde de carbone dissout dans l'eau réagit avec les carbonates de calcium induisant la dissolution de l'ion calcium, la formation de bicarbonate et en conséquence permet la régularisation du pH.

III.1.4.3. Dosage d'hypochlorite de sodium

Il s'agit de l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel 12 °C1) à une dose de 2,5 ppm



L'équation de la réaction est :

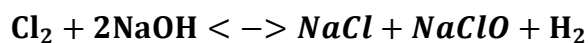




Figure III. 11: Silos de stockage d'hypochlorite de sodium

III.2. Méthodes d'analyses

III.2.1. Analyses physiques

III.2.1.1. Mesure de pH, conductivité, TDS et température

Ces paramètres ont été mesurés par un appareil multi-paramètre de la marque MAYRON LCAMPANY 6 PFCE au niveau de laboratoire de qualité de la station de Ténès.



Figure III. 12: Appareil multi-paramètre

III.2.1.2. Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité a été effectuée à l'aide d'une Turbidimètre (HANNA, Hi 93703). L'échantillon sera analysé en utilisant des cubes en verre bien nettoyés et bien séchés, remplis de l'eau à analyser et le résultat est affiché en NYU (Néphélogétrie Turbidité Unité).

III.2.2. Analyses chimiques

III.2.2.1. Test de la dureté totale (TH)

Tableau III. 1: Mesure de la dureté totale

| Matériel et réactifs | Mode d'opérateur |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Erlenmeyer de 100ml • Fiole jaugée de 50 ml • Burette+ support • Agitateur magnétique + barreau aimanté • Entonnoir • Pipette graduée de 5ml+pro-pipette ; • Solution d'EDTA, 0,01N • Solution Tampon pH=10 • Noir d'eriochrome T ,1% | <ol style="list-style-type: none"> 1. Avant tout, agiter l'échantillon doucement. 2. A l'aide d'une fiole jaugée, introduite 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 100 ml ; 3. Ajouter 4 ml de tampon pH 10 à l'aide de la pipette en plastique 4. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de noir d'erichrome 1% jusqu'à obtenir une couleur rose-violette ; 5. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleu-franche ; 6. Noter le volume « V » de burette [27]. <p style="text-align: center;">TH en mg/l CaCO₃=Vx20</p> |



Figure III. 13: Avant le dosage de la dureté



Figure III. 14: Après le dosage de la dureté

III.2.2.2. Test de calcium et de magnésium

Cette procédure a pour but de définir la quantité de calcium et de magnésium présente dans une eau potable.

Tableau III. 2: Dosage de calcium et de magnésium

| Appareillage et réactifs | Mode opératoire |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Erlenmeyer de 100 ml • Fiole jaugée de 50 ml • Burette + support • Entonnoir • Pipette graduée de 5ml + pro-pipette • Solution EDTA 0,01N • Solution de NaOH 2 N • Murexide | <ol style="list-style-type: none"> 1. A l'aide d'une fiole jaugée, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml 2. Ajouter 4 ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique 3. A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose 4. Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette [27]. 5. Noter le volume « V » de la burette et calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule donnée ci-dessous. |

$$\text{Concentration en Calcium en mg/l} = 8,016 \times V$$

$$\text{Concentration en Calcium en mg/l (CaCO}_3\text{)} = 20,04 \times V$$

Concentration en Magnésium :

$$\text{Mg (mg/l en CaCO}_3\text{)} = [\text{la concentration totale des ions (calcium + magnésium) en (mg/l en CaCO}_3\text{)} - \text{Concentration en calcium en (mg/l en CaCO}_3\text{)}]$$

$$\text{Mg (mg/l)} = [(\text{Dureté totale} / 50,044) - (\text{Ca}^{2+} / 20,04)] \times 12,156$$

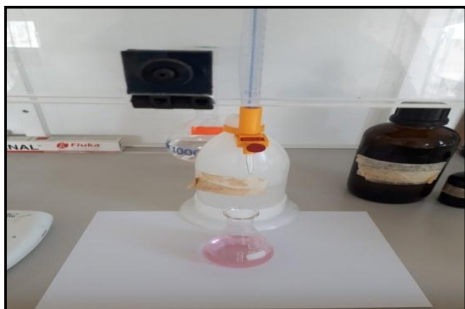


Figure III. 15: Avant le dosage de calcium et de magnésium

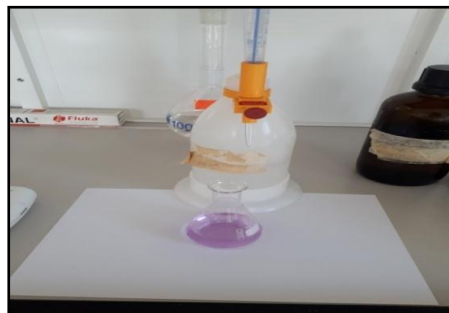


Figure III. 16: Après le dosage de calcium et de magnésium

III.2.2.3. Test d'alcalinité

Tableau III. 3: Test d'alcalinité

| Appareillage et réactifs | Mode opératoire |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Erlenmeyer de 250 ml • Fiole jaugée de 100 ml • Burette + support • Entonnoir • Pipette graduée de 1ml • HCl 0,02 • Méthyle orange 0,4% | <ol style="list-style-type: none"> 1. A l'aide d'une fiole jaugée propre, verser 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml 2. Ajouter 5 gouttes de méthyle orange dans le même erlenmeyer et mélanger, on obtient une coloration jaune-orange 3. Verser HCl goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration orange ; 4. Noter le volume de burette «V» [27]. |
| <p>TAC en mg/l CaCO₃ = V.10 (Alcalinité totaux)</p> | |



Figure III. 17: Avant le titrage



Figure III. 18: Après le titrage

III.2.2.4. Test de chlorure

C'est une méthode de mesure pour déterminer le taux de chlorure présent dans l'eau de mer, cette méthode s'appelle : la méthode de Mohr est valable pour toutes les eaux dont le pH est compris entre 6 et 8.

Tableau III. 4: Test de chlorure

| Appareillage et réactifs | Mode opératoire |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Une fiole jaugée de 1 litre et une autre de 100 ml • La solution d'AgNO₃ 0.10 N • Indicateur coloré K₂CrO₄ à 0.5 mol/l • La solution NaCl 0.10N • L'eau minéralisée • Un erlmeyer • Une pipette | <p>1- Diluer l'échantillon d'eau de mer 5 fois en pipetant 20 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 100 ml</p> <p>2- Prélever 10 ml de l'échantillon dilué dans un erlmeyer, ajouter quelques gouttes de K₂CrO₄ et doser avec AgNO₃ 0.10 N jusqu'à la coloration orange du mélange en agitant constamment. Soit V le volume lu à la burette [24].</p> <p>[0.10N. (35,5(g)).1000 (mg).V (ml). (5fois)] /10(ml)= (1775.V) (mg/l)]</p> |

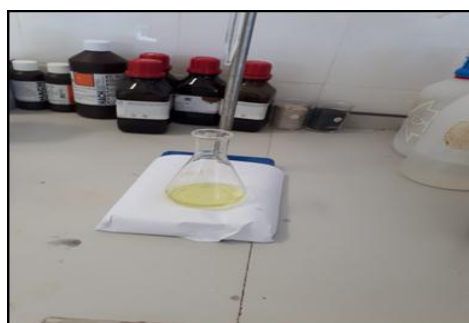


Figure III. 19: Avant le dosage de Chlorure



Figure III. 20: Après le dosage de Chlorure

III.2.2.5. Mesure de sulfate et TSS

L'analyse de sulfate présent dans l'eau de mer ou l'eau usée est détectée à l'aide d'un spectrophotomètre (HACH DR 3900).

Tableau III. 5: Mesure de sulfate et TSS

| Appareillage et réactifs | Mode opératoire |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Spectrophotomètre HACHDR 3900• Cuvette rectangulaire en verre• Papier pour le nettoyage• Réactif sulfaver powder pillow• Eau distillée | <ol style="list-style-type: none">1. Démarrer le programme 680 pour le sulfate et 630 pour TSS2. Préparer l'échantillon : faire une dilution de 50 fois3. Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé4. Ajouter le contenu d'un sachet de sulfaver powder pillow dans la même cuvette remplis avec l'échantillon5. Agiter la cuvette afin d'homogénéiser la solution, une turbidité blanche se forme à la présence de sulfate6. Démarrer le chronomètre, laisser la réaction s'effectuer pendant 5 minutes. Eviter de bouger ou d'agiter la cuvette pendant ce temps7. Préparation du blanc : remplir une cuvette en verre avec de l'eau distillée sans mettre le réactif sulfaver powder pillow, insérer la dans le puits et appuyer sur zéro, une valeur de 0 mg/l SO_4^{-2} s'affiche sur l'écran de l'instrument ;8. Après l'expiration des 5 minutes, nettoyer la cuvette avec un papier, insérer dans le puits la dilution (80 fois pour eau de mer ou saumure, 50 fois pour eau potable) et enfin appuyer sur mesure [27]. |



Figure III. 21: Spectrophotomètre

III.2.2.6. Test de Bore (pour l'eau de mer et le saumure)

Tableau III. 6: Test de Bore

| Appareillage et réactifs | Mode opératoire |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Un bécher, pipette. • Un pH mètre. • Les solutions HI 38074A-0, HI 38074B-0, HI 38074C-0, HI 38074E-0. • Un sachet de mannitol. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Dans un bécher verser 50 ml de l'échantillon. 2. Ajouter 3 gouttes de HI 38074A-0 et mélanger avec le pH mètre jusqu'à l'obtention de la couleur mauve, donc le pH dépasse 7. 3. Ajouter une goutte de HI38074B-0 et mélanger jusqu'à le changement de couleur jaune, donc le pH est de 6,97. 4. Ajouter le HI38074C-0 pour l'obtention d'un pH est de 7,85. 5. Ajouter un sachet de mannitol réagent pour obtenir un pH inférieur à 7,52. 6. Ajouter HI 38074 E-0 à l'aide d'une pipette pour augmenter le pH à 7,8, et noter le nombre des gouttes [27]. |



Figure III. 22: Solutions utilisées dans le test de Bore

III.2.2.7. Test de chlore libre

L'analyse de chlore se fait à l'aide d'un appareil spécial qui indique le taux de chlore dans l'eau potable, c'est la chlorométrie.



Figure III. 23: Appareil d'analyse de Chlore

1. Préparation du blanc : remplir une cuvette en verre avec de l'eau distillée, insérer la dans le puits et appuyer sur zéro ;
2. Remplir la cuvette en verre avec 10 ml prélevé de l'échantillon préparé ;
3. Ajouter un sachet indicateur de chlore pour obtenir une coloration rose claire ;
4. Insérer la cuvette dans le puits de l'appareil et appuyer sur READ [27].

III.2.2.8. Mesure d'indice de Langelier

Il est tenu compte à la fois de la température, du pH, de l'alcalinité et de la dureté.

L'indice de Langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si l'eau est corrosive ou s'il y a formation de tartre. On peut déterminer si l'eau est équilibrée ou non chimiquement. Il est calculé par un logiciel qui s'appelle " Equilibre 1 ".

Chapitre IV :

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons tous les résultats des tests que nous avons effectués pendant les mois d'avril et mai.

IV.1. Résultats

Par le tableau IV. 1, on présente les résultats d'analyse de mois d'avril

Tableau IV. 1: Résultats d'analyse pour le mois d'avril

| Paramètres | Unité | Références OMS | Moyennes d'analyses | Jours d'analyses | | | |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | 03/4/ 2022 | 10/4/ 2022 | 17/4/ 2022 | 24/4/ 2022 |
| pH | | 7,5 à 8,5 | 7,82 | 7,81 | 7,83 | 7,82 | 7,81 |
| Température | (C°) | 15<T<25 | 17,50 | 17,08 | 17,34 | 17,68 | 17,95 |
| Conductivité | (µS/cm) | 1000 à 2000 | 709,39 | 709,39 | 704,66 | 706,43 | 709,33 |
| TDS | ppm | 150<TDS<500 | 396,53 | 393,0 | 391,8 | 405,5 | 405,4 |
| Turbidité | NTU | <5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Dureté Totale TH | mg/l CaCO ₃ | 80<TH<150 | 81,00 | 80 | 80 | 81 | 80 |
| Calcium | mg/l | <50 | 28,36 | 28,08 | 28,06 | 28,05 | 28,08 |
| Calcium | CaCO ₃ | <100 | 70,89 | 70,14 | 69,64 | 70,39 | 69,89 |
| Magnésium | mg/l CaCO ₃ | <50 | 10,11 | 10,11 | 10,11 | 9,86 | 10,11 |
| Alcalinité | mg/l CaCO ₃ | >60 | 86,25 | 86,13 | 86,25 | 86,17 | 86,21 |
| Cl₂ | ppm | <1 | 0,30 | 0,24 | 0,21 | 0,22 | 0,28 |
| Bore | mg/l | <1 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| Indice de Langelier | | 0 à 0,4 | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,11 | 0,09 |

Par le tableau IV. 2, on présente les résultats d'analyse de mois de mai

Tableau IV. 2: Résultats d'analyse pour le mois de mai

| Paramètres | Unité | Références OMS | Moyennes d'analyses | Jours d'analyses | | | |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | 08/5/ 2022 | 15/5/ 2022 | 22/5/ 2022 | 29/5/ 2022 |
| pH | | 7,5 à 8,5 | 7,79 | 7,75 | 7,8 | 7,87 | 7,89 |
| Température | (C°) | 15<T<25 | 25,21 | 25,1 | 26,1 | 26,3 | 26,5 |
| Conductivité | (µS/cm) | 1000 à 2000 | 809,83 | 800,43 | 804,57 | 809,87 | 831,19 |
| TDS | ppm | 150<TDS<500 | 396,53 | 391,84 | 393,09 | 396,64 | 405,54 |
| Turbidité | NTU | <5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Dureté Totale TH | mg/l CaCO ₃ | 80<TH<150 | 81,00 | 80 | 79 | 80 | 80 |
| Calcium | mg/l | >50 | 27,96 | 28,08 | 27,86 | 28,06 | 27,96 |
| Calcium | CaCO ₃ | <100 | 69,89 | 69,15 | 70,06 | 69,92 | 69,78 |
| Magnésium | mg/l CaCO ₃ | <50 | 10,16 | 10,07 | 9,98 | 10,12 | 10,14 |
| Alcalinité | mg/l CaCO ₃ | >60 | 86,00 | 86,00 | 86,00 | 85,90 | 86,00 |
| Cl₂ | ppm | <1 | 0,31 | 0,27 | 0,30 | 0,30 | 0,29 |
| Bore | mg/l | <1 | 0,60 | 0,58 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| Indice de Langelier | | 0 à 0,4 | 0,22 | 0,22 | 0,25 | 0,21 | 0,24 |

IV.2. Discussions

Les analyses organoleptiques exposent une eau de bonne saveur. Les analyses du pH et conductivité électrique révèlent des valeurs conformes aux normes algériennes et celles de l'OMS (**Tableau A. 1, Annexes**).

- Les teneurs en chlore, carbonate de calcium et d'hypochlorite de sodium sont conformes aux recommandations soulignées.
- Le profil en certains cations et anions spécifiquement le calcium, le magnésium montre une diminution signification de normes algériennes et celles de l'Organisation Mondiale de la Santé. Il sera nécessaire de corriger ces niveaux lors la reminéralisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le dessalement est un enjeu particulièrement important pour l'avenir des régions sujettes aux pénuries d'eau. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Elle permet une utilisation et d'une gestion économe des ressources en eau et la mise en œuvre de moyens appropriés pour faciliter l'accès à l'eau potable [14].

Dans la station de dessalement, les étapes de pré-traitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité.

Les Eaux superficielles sont de plus en plus difficiles à traiter, à cause de la pollution (sous ses différentes formes). Par conséquent, le coût de leur potabilisation devient de plus en plus cher.

Les résultats montrent bien l'intérêt de l'implantation de cette station pour résoudre le problème de pénurie en eau potable de la wilaya de Chlef.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] JOA. 2005. Journal officielle algérien n°60.la loi n°05-12 du 4 aout 2005, relative à l'eau.
- [2] OMS. 2011. Organisation mondiale de la santé. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. INBS 978 92 4 154815 1.
- [3] JACQUES D. 2007. Faire face à la pénurie d'eau. FAO salle presse. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- [4] BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUIMI D., EL MOUSTAINE R. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de MKnès. Maroc. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp 21-36 2013.
- [5] BENBLIDA M. 2011. L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude national Algérie. Plan bleu, Sophia Antipolis, centre d'activité régionale. PNUE/ PAM.
- [6] KERTOUS B. 2008. Université de Rouen- Rouen. PDF le site web.
- [7] Construction et exploitation d'une usine de dessalement d'eau de mer de Ténès, UTD Dessalement Ténès Construction.
- [8] LINSKY R. 1999. "Water is the real value of water?" In IDN NEWS vole 8.
- [9] MAUREL A. 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition,TEC &doc.286p.
- [10] TANSAKUL C. 2009. Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. Doctorat. Génie des procédés et de l'environnement Université de Toulouse.
- [11] BRGM. 2010. Quelles techniques pour quels traitement- analyse couts, bénéfiques. Rapport final.BRGM/ RP-58609-FR.
- [12] CASTAING J. B. 2011. Procédés de traitement de l'eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves.Thèse de doctorat.génie des procédés. Université de Nante.

- [13] MANDRI Y. 2011. Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide. Thèse de doctorat, génie des procédés université Claude Bernard Lyon1, n° d'ordre : CT12.
- [14] CHENAOUI B. 2010. Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement. Séminaire Ouargla. Université de Chlef.
- [15] TAHRAOUI D.N. 2010. Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès (Chlef) et l'impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique). WATMED5, Lille-France.
- [16] WANGNICK K. 2000. IDA Worldwide Desalting Plants Inventory. Report 2000.
- [17] TATA-DUDRU .F. 2009. Dessalement de l'eau de mer, bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes. Centre de Montpellier.
- [18] SAMAKE O. 2013. Analyse thermodynamique d'un multiple effet à thermo-compression alimenté par les pertes énergétiques d'un moteur diesel. université de Sherbrooke.
- [19] DAUSSY A., GUERIN M., YAONN A. 2012. Le dessalement de l'eau de mer à Malte. Université de technologie Compiègne.
- [20] FIDALI S. 2007. Modélisation et conception d'une distillation pour les communautés rurales. Magister en mécanique. Option : énergétique, département de mécanique. Université de Batna.
- [21] BERLAN J M & JUERY C. 2002. le procédé membranaire pour le traitement de l'eau. Office international de l'eau (SNIDE). ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Direction de l'espace rurale et de la forêt- France.
- [22] EL KHABBAZE H. 2008. Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nano filtration et d'osmose inverse .chimie. Thèse de doctorat. Université Mohamed v AGDAL faculté des sciences rabat, Maroc.
- [23] ARZATE A. 2008. Procédé de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire. Revue de littérature. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.

- [24] CORSIN P., CEDRIC M. 2003. Les pompes hautes pression adaptées aux usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse, le thème du mois : les pompes, La revue : l'eau, l'industrie, les nuisances, n°265.
- [25] BECHKI D. 2011. Etude comparative et optimisation de procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Doctorat en sciences en génie mécanique. Université Hadj lakdar Batna.
- [26] MANDRI Y. 2011. Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide. Thèse de doctorat, génie des procédés Université Claud bernard lyonl, n° d'ordre : C12.
- [27] Bureau d'étude national eau et Environnement. SPA Alger, janvier 2009.
- [28] document de la station. « UTE, desalodra Ténès Opération Maiteniments O et M ». juin 2016.

Annexes

Tableau A. 2: Paramètre selon l'OMS et le journal officiel algérien

| Paramètres | Selon l'OMS | Selon le Journal Algérien | Unité |
|--------------------------------------|-------------|---------------------------|-------|
| pH | 9 | 6,5-8,5 | |
| Conductivité | 1000 | 2800 | µs/cm |
| Dureté totale | 50 | 100-500 | °F |
| Calcium | 100 | 75-200 | Mg/L |
| Magnésium | 50 | 150 | Mg/L |
| Sodium | 150 | 200 | Mg/L |
| Potassium | 12 | 20 | Mg/L |
| Sulfates | 250 | 200-400 | Mg/L |
| Chlorures | 600 | 200-500 | Mg/L |
| Nitrates | 50 | 50 | Mg/L |
| Nitrites | 0,1 | 0,1 | Mg/L |
| Ammonium | 0,5 | 0,5 | Mg/L |
| Phosphates | 5 | 5 | Mg/L |
| Oxydabilité(KMnO₄) | 5 | 3 | Mg/L |
| Oxygène dissout | 5 | 5 | Mg/L |
| Aluminium | 0,2 | 0,2 | Mg/L |
| Température | 25 | 25 | °C |

Tableau A. 3: Résultats des analyses physico-chimiques pour l'eau de mer et la moyenne pour celle de l'eau traitée.

| Paramètres | Unité | Eau de mer | Eau traitée |
|-----------------------------------|--------------|-------------------|--------------------|
| Température | °C | 18,3 | 18,22 |
| Ph | | 8 | 8,29 |
| Conductivité | µs/cm | 54400 | 1029 |
| Turbidité | NUT | 3 | 0,5 |
| Les solides dissous totale | Mg/L | 37500 | 525 |
| Les matières en suspension | Mg/L | 4 | - |
| Alcalinité totale | Mg/L | 124,90 | 57 |
| Dureté totale | Mg/L | 7150 | 123 |
| Indice de Langelier LSI | - | 0,59 | 0,05 |
| Bore | Mg/L | 5 | 1,242 |
| Chlore libre | Mg/L | - | 0,33 |
| Chlorure | Mg/L | 20300 | - |
| Calcium | Mg/L | 420 | 29,329 |
| Sulfate | Mg/L | 3400 | - |
| Magnésium | Mg/L | 1330 | 3,647 |
| Sodium | Mg/L | 11650 | - |
| Potassium | Mg/L | 296,482 | 8,377 |
| Bicarbonate | | 135 | 70,02 |

ملخص

تحلية مياه البحر تجعل من الممكن على وجه الخصوص زيادة الموارد المائية توفر المياه العذبة، لتوفير حل في حالة الجفاف ولمواكبة مواقف النقص والأزمات.

تحلية مياه البحر على مستوى بلدية تنس-شلف، هي واحدة من أكبر المشاريع التي قامت بها الحكومة الجزائرية في التزود بالمياه الصالحة الشرب بسعة 200000 م³ في اليوم. هذا البحث يهدف الى متابعة تطور النوعية الفيزيائية و الكيميائية للمياه التي تنتجها تحلية مياه البحر بواسطة الضغط الأسموزي العكسي.

في ضوء النتائج التي تم الحصول عليها تمتاز مياه تحلية البحر -تنس بجودة فيزيوكيميائية ملائمة.

الكلمات الرئيسية: تحلية مياه البحر، الجودة الفيزيوكيميائية، الضغط الأسموزي العكسي.

Résumé

Le dessalement de l'eau de mer permet notamment d'augmenter la ressource en eau douce disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de faire face aux situations de pénuries et de crises.

La station de dessalement de l'eau de mer à TENES-CHLEF, constitue l'un des plus grands projets réalisés par le gouvernement algérien en matière d'approvisionnement en eau potable, avec une capacité de 200.000 m³/ jour. Ce travail a pour objectif de faire un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse.

A la lumière des résultats obtenus, les eaux issues de dessalement de l'eau de mer à Ténès présentent une qualité physico-chimique plus ou moins adéquate.

Mots clés: Dessalement de l'eau de mer, qualité physico-chimique, Osmose inverse

Abstract

The desalination of seawater makes it possible in particular to increase, to provide a solution in case of drought and to cope with situations shortages and crises.

The desalination of seawater TENES- CHLEF is one of the largest projects undertaken by the Algerian government in drinking water, with a capacity of 200.000 m³/day. This work aims to follow the evolution of the physicochemical quality of the water produced by desalination of seawater by reverse osmosis technique.

In light of the results obtained, the water from desalination of seawater Ténès has one or less adequate physico-chemical more quality.

Keywords: Desalination seawater, physico-chemical quality, reverse osmosis

